

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-149502

(43)Date of publication of application : 21.05.2003

(51)Int.Cl.

G02B 6/36
C03C 10/00
C03C 19/00

(21)Application number : 2001-352986 (71)Applicant : NIPPON ELECTRIC GLASS CO LTD

(22)Date of filing : 19.11.2001 (72)Inventor : SAITO KAZUYA
TAKEUCHI HIROKAZU
WADA MASANORI

(30)Priority

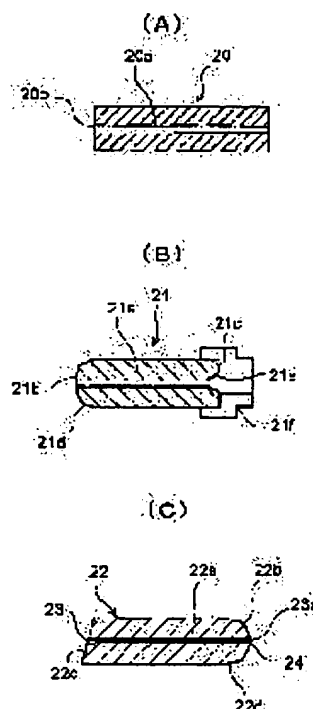
Priority number : 2001258702 Priority date : 28.08.2001 Priority country : JP

(54) CAPILLARY FOR OPTICAL FIBER, FERRULE FOR OPTICAL CONNECTOR, AND CAPILLARY WITH OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a capillary for an optical fiber with which a low connection loss can be obtained easier than before without performing any troublesome aligning operations, a ferrule for an optical connector which uses the capillary, and a capillary with an optical fiber.

SOLUTION: The capillary 20 for optical fiber is characterized in that the Ra value of the surface roughness of an internal hole 20a into which an optical fiber can be inserted is 0.1 to 0.5 μm . The ferrule 21 for the optical connector has a chamfered part 21d which guides the insertion into a sleeve at one end of the capillary for the optical fiber and a flare part 21e which has an opening at the other end and guides the optical



fiber into the internal hole 21a. Further, the capillary 22 with the optical fiber has the optical fiber 23 inserted into the internal hole 22a.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.10.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The capillary tube for optical fibers which an optical fiber is equipped with the inner hole which has the bore in which insertion maintenance is possible, and is characterized by Ra value of the surface roughness of this inner hole being 0.1 micrometers - 0.5 micrometers.

[Claim 2] The capillary tube for optical fibers according to claim 1 characterized by Ry value of the surface roughness of an inner hole being 4.0 micrometers or less.

[Claim 3] The capillary tube for optical fibers according to claim 1 or 2 characterized by the difference of the average line of the surface roughness of an inner hole and a crest crest line being 2.0 micrometers or less.

[Claim 4] The capillary tube for optical fibers given in any of claims 1-3 characterized by consisting of glass ceramics which deposited the crystal in amorphous glass, and the crystal grain child depositing on the surface of an inner hole they are.

[Claim 5] The capillary tube for optical fibers given in any of claims 1-4 characterized by coming to prepare predetermined surface roughness with a mechanical processing means on the surface of an inner hole they are.

[Claim 6] The ferrule for optical connectors by which the chamfer which shows insertion to a sleeve to one edge, and the flare section which carries out [the section] opening to the other-end section, and it shows to an optical fiber in an inner hole are formed in the capillary tube for optical fibers given in any of claims 1-5 they are.

[Claim 7] A capillary tube with an optical fiber equipped with the capillary tube for optical fibers given in any of claims 1-5 they are, and the optical fiber inserted in the inner hole of this capillary tube for optical fibers.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the capillary tube for optical fibers used for manufacture of an optical device, the ferrule for optical connectors, and the capillary tube with an optical fiber which inserted the optical fiber in the inner hole.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, high performance and a cheap optical device are needed in large quantities with rapid development of an optical-communication network. The capillary tube with an optical fiber and the optical connector plug which are called the optical fiber stub of the shape of a cylinder which inserted the optical fiber in the precise capillary tube, and fixed with adhesives are used for the optical device of a plug mold and the optical device of a receptacle mold having especially an optical fiber.

[0003] For example, as shown in drawing 12, it functions as processing one end face of a capillary tube with an optical fiber on an other-end side in a slanting polished surface at the convex spherical surface as an optical fiber stub 6. In order to carry out outgoing radiation from laser diode 1, to adopt the lightwave signal condensed with the lens 2 and to transmit to the optical fiber 5 in the ferrule 4 for optical connectors of the optical connector plug 3, or since it condenses to the photodiode which does not illustrate the lightwave signal which carried out outgoing radiation from the optical fiber 5 in inner hole 4a of the ferrule 4 for optical connectors, this optical fiber stub 6 is used.

[0004] Polish processing of the end-face 7b is carried out so that the reflected light may go into a laser diode 1 in end-face 7b of the capillary tube 7 for optical fibers by the side of a laser diode 1 (or photodiode), this optical fiber stub 6 may not become a noise, and a reflective shaft may accomplish the include angle of abundance to the incidence shaft of a lightwave signal. Furthermore, end-face 7c of the opposite side compares the optical connector plug 3 and an optical fiber 8, and polish is carried out to the convex spherical surface centering on end-face 8a of an optical fiber 8 so that PC (the abbreviation for physical contact) connection may be possible.

[0005] Connection between the optical connector plug 3 and the optical fiber stub 6 is made by PC connection which compares end-face 5a of the optical fiber 5 processed into the convex spherical surface of the optical connector plug 3, and end-face 8a of the optical fiber 8 of the optical fiber stub 6 within a split sleeve 9, as shown in drawing 12.

[0006] Generally as connection of such a lightwave signal, connection of the optical connectors used for mass optic fiber communication is typical. In connection of an optical connector, as shown in drawing 13 R> 3, the ferrule 11 for optical connectors which processed into the predetermined configuration the precise capillary tube equipped with inner hole 11a which has the bore in which the optical connector plug 10 can insert an optical fiber 12 is used, an optical fiber 12 is inserted in the inner hole 11a with adhesives, and the end face is processed into it by the convex spherical surface. Connection of these optical connector plug 10 comrades is made by PC connection which compares end-face 12a of an optical fiber 12 within a split sleeve 13. The connection loss at this time mainly originates in the

imperfect alignment of optical fiber 12 comrades of PC connection, and is produced. The imperfect alignment of optical fiber 12 comrades is produced as that by which inner hole 11a of the outer-diameter difference of ferrule 11 comrades for optical connectors used, the roundness of inner hole 11a of an end face, the cylindricity of peripheral face 11b, and the ferrule 11 for optical connectors, the concentricity of peripheral face 11b, and the eccentricity of the optical fiber 12 within inner hole 11a of an end face were accumulated. The concentricity of inner hole 11a of ferrule 11 end face for optical connectors and peripheral face 11b and the eccentricity of the optical fiber 12 within inner hole 11a of an end face have contributed to the imperfect alignment of the optical fibers compared most among these. Therefore, by the communication link which uses a single mode optical fiber, the concentricity of the ferrule 11 for optical connectors is specified as 1.4 micrometers or less. Moreover, the ferrule large 0-1 micrometer is used to the outer diameter of the optical fiber 12 with which bore 11a is inserted. Generally the amount d of imperfect alignments of such an optical fiber 12 and the relation with the connection loss Loss (unit dB) are expressed with the following formula, when the core diameter of an optical fiber is set to w.

[0007]

[Equation 1]

$$Loss = 4.34 \left(d / (w / 2) \right)^2$$

[0008] Here, the factor of connection loss is limited to the concentricity of inner hole 11a and peripheral face 11b, and the eccentricity of the optical fiber 12 within inner hole 11a, and is considered. First, the concentricity of the ferrule 11 for optical connectors is 1.4 micrometers or less, and when an optical fiber carries out 0.5-micrometer eccentricity within inner hole 11a using the ferrule 11 for optical connectors with the bore of inner hole 11a larger 1 micrometer than an optical fiber 12, the eccentricity in another [to compare] ferrule is considered the same way, and the amount of imperfect alignments is set to 2.4 micrometers in the worst case, and it becomes 1.0dB [a maximum of] connection loss by above several 1. So, in order to attain the connection loss of 0.5dB or less specified to the specification (JIS-C -5962) of the optical connector for a communication link using a quartz system single mode optical fiber, the alignment activity which rotates the ferrule 11 for optical fibers is needed. An actual alignment activity first measures the concentricity of inner hole 11a of ferrule 11 end face for optical connectors, and peripheral face 11b. Marking of the eccentric direction is carried out to the side face of the flange material 14 in 90-degree pitch (1 / 4 rotation pitch). Actually acting [as the eccentric direction of ferrule 11 comrades for optical connectors to compare is doubled, assemble it, or] as the monitor of the luminous intensity with a power meter etc. through light An emergency [say / assembling in the location where it rotates the 1/4-rotation ferrule 11 for optical connectors at a time, and connection loss becomes best] takes time and effort, and it is a troublesome activity.

[0009] On the other hand, although the same phenomenon also as an optical device as shown in drawing 12 of the account of the point happens In the case of positioning with the optical axis of the case where the optical connector plug 3 and the optical fiber stub 6 are connected, and the lightwave signal (or lightwave signal by which outgoing radiation is carried out) condensed with the lens 2, and the core of the optical fiber 8 in inner hole 7a of the capillary tube 7 for optical fibers used for the optical fiber stub 6 Since polish processing is carried out and a location is fixed so that the include angle of abundance may be accomplished without taking into consideration the eccentric direction of the optical fiber 8 which has end-face 7b of the capillary tube 7 for optical fibers of the optical fiber stub 6 in inner hole 7a, an alignment activity cannot be done on the structure. Therefore, the imperfect alignment which originated in the eccentricity of the optical fiber 8 in inner hole 7a among the imperfect alignments between both cannot be mitigated, but there is a problem on which connection loss of a lightwave signal increases.

[0010] moreover, as shown in drawing 13 , in order for the tolerance of concentricity to be 1.4 micrometers or less and for the tolerance of a bore to mass-produce the ferrule 11 for optical connectors of the very severe dimensional accuracy of -0 micrometer / +1.0 micrometers to the diameter of an optical fiber 12 For example, at least, when the ferrule 11 for optical connectors is the most general product made from zirconia ceramics, in order to process and finish the sintered compact of an

ingredient, Ra value of surface roughness needs to carry out polish processing of the inside-and-outside side so that it may be set to less than 0.1 micrometers.

[0011] When Ra value of the surface roughness which such a ferrule 11 for the optical connectors made from zirconia ceramics possesses inserts an optical fiber 12 in inner hole 11a which is less than 0.1 micrometers and fixes with adhesives, an optical fiber 12 is in the inclination which inclines and carries out eccentricity to an inner hole 11a side attachment wall, it is known that the core in inner hole 11a cannot align easily, and artificers are also checking this fact. Therefore, in order to attain less than 0.5dB which is the default value of the connection loss indicated by the specification (JIS-C -5962) of the optical connector for a single mode optical fiber communication link of a quartz system in the ferrule 11 for optical connectors which has small surface roughness, such as the conventional product made from zirconia ceramics, the above troublesome alignment activities were indispensable. Although the phenomenon of the optical fiber stub 6 and the optical connector plug 3 which are shown in drawing 12 same also in the case of connection happens, since an alignment activity cannot be performed, when the capillary tube 7 for optical fibers made from the conventional zirconia ceramics is used, the imperfect alignment resulting from the eccentricity of the optical fiber 8 in inner hole 7a cannot be mitigated, but there is a problem on which loss of a lightwave signal increases on the structure of the optical fiber stub 6.

[0012] Moreover, what large capacity and/or high-reliability are required as among the applications of optical communication may be asked for connection loss still lower than 0.5dB which is the default value of connection loss of an optical connector. There is no means besides setting up more severely than standard tolerance the tolerance of bore 11a of the ferrule 11 for optical connectors shown in drawing 13 in order to correspond to such a demand, or the tolerance of concentricity, and in order to sort out and manufacture what has good dimensional accuracy out of the produced ferrule 11 for optical connectors, cost becomes high very much. Moreover, since an alignment activity cannot be performed when PC connection is the same structure as the ferrule for optical connectors and low connection loss is similarly searched for about the optical fiber stub 6 shown in drawing 12 which processed the capillary tube with an optical fiber and dimensional accuracy becomes severe further, there is a problem of becoming very expensive.

[0013] This invention aims at being made in view of the above-mentioned trouble, and low connection loss being acquired more easily than before, and offering the cheaply producible capillary tube for optical fibers, and the ferrule for optical connectors using it and a capillary tube with an optical fiber.

[0014]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, artificers resulted in the following invention. That is, an optical fiber is equipped with the inner hole which has the bore in which insertion maintenance is possible, and the capillary tube for optical fibers concerning this invention is characterized by Ra value of the surface roughness of an inner hole being 0.1 micrometers - 0.5 micrometers.

[0015] Since it is in the inclination in which the optical fiber inserted as the surface roughness Ra value of the inner hole of the capillary tube for optical fibers is less than 0.1 micrometers approaches and carries out eccentricity to an inner hole side attachment wall, the alignment effectiveness is not expectable. Ry value defined as the maximum granularity on the other hand when Ra value of the surface roughness of an inner hole exceeds 0.5 micrometers -- a considerable amount, since becoming large is expected There are the case the center position of the maximum inscribed circle cylinder of an inner hole shifting increasing to the core of the circle made by the average line of the surface roughness of an inner hole like the above, and the original concentricity of an inner hole itself worsening as for a parenchyma top, and a possibility of a blemish taking lessons from the inserted optical fiber front face, and inviting a fall on the strength. It is important that Ra value of the surface roughness of an inner hole is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers in the capillary tube for optical fibers of this invention.

[0016] For example, when it constitutes an optical connector plug and an optical fiber stub using the capillary tube for optical fibers made from zirconia ceramics, in order to fulfill the connection loss specified with the optical connector Although severe dimensional accuracy (-0 micrometer of tolerance

of a bore, +1.0 micrometers, 1.4 micrometers or less of tolerance of concentricity) is attained because precision improves Ra value of the surface roughness of an inner hole polish processing to less than 0.1 micrometers. If Ra value of surface roughness is set to 0.5 micrometers or more, it will become almost impossible to become difficult to satisfy this dimensional accuracy, and to stabilize and mass-produce.

[0017] Moreover, also when it constitutes an optical connector plug and an optical fiber stub using the crystallization glass capillary tube for optical fibers produced by extension shaping, it is difficult for Ra value of surface roughness to satisfy similarly the severe dimensional accuracy as a capillary tube used for an optical fiber stub in 0.5 micrometers or more, and it becomes difficult to manufacture a cheap optical fiber stub in large quantities.

[0018] Moreover, the capillary tube for optical fibers of this invention is characterized by Ry value of inner hole surface roughness being 4.0 micrometers or less.

[0019] When the surface roughness Ry value of the inner hole of the capillary tube for optical fibers exceeds 4.0 micrometers, there is a possibility that the center position of the maximum inscribed circle cylinder of an inner hole may shift, to the core of the circle made by the average line of the surface roughness of an inner hole, as for a parenchyma top, the original concentricity of an inner hole itself worsens, and also a blemish may be given to the optical fiber front face inserted at the heights tip projected keenly. When securing the close dimensional accuracy of an inner hole in the capillary tube for optical fibers of this invention, it is important that it is 4.0 micrometers or less as a Ry value of the surface roughness of an inner hole.

[0020] Moreover, the capillary tube for optical fibers of this invention is characterized by the difference of the average line of the surface roughness of a capillary tube inner hole and crest crest line which are used for it being 2.0 micrometers or less.

[0021] When the difference of the average line of surface roughness and crest crest line which are defined by JIS-B-0601 of the inner hole of the capillary tube for optical fibers exceeds 2.0 micrometers, There is a possibility that the center position of the maximum inscribed circle cylinder of an inner hole may shift, to the core of the circle made by the average line of the surface roughness of an inner hole, and, as for a parenchyma top, the original concentricity of an inner hole itself worsens, and also a blemish may be given to the inserted optical fiber front face at the heights tip projected keenly. When acquiring the alignment effectiveness of the optical fiber in an inner hole in the case of the capillary tube for optical fibers which constitutes capillary tubes with an optical fiber, such as an optical connector plug and an optical fiber stub, from a capillary tube for optical fibers of this invention, it is important that the difference of the average line of surface roughness and a crest crest line is 2.0 micrometers or less to the average line of surface roughness even when heights and a crevice are unsymmetrical.

[0022] Moreover, the capillary tube for optical fibers of this invention consists of glass ceramics which deposited the crystal in amorphous glass, and is characterized by the crystal grain child depositing on the surface of an inner hole.

[0023] As a crystal deposited in amorphous glass by this invention, in order to set Ra value of the surface roughness of the capillary tube inner hole for optical fibers to 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, if the diameter of crystal grain is 0.1 micrometers - about 1.0 micrometers, it is usable, for example, the crystal of beta-spodumene etc. is suitable.

[0024] Moreover, the capillary tube for optical fibers of this invention is characterized by coming to prepare predetermined surface roughness with a mechanical processing means on the surface of an inner hole.

[0025] With a mechanical processing means to prepare the above-mentioned predetermined surface roughness in the front face of an inner hole with the capillary tube for optical fibers of this invention. For example, although internal grinding and polish which use a wire, an abrasive grain, etc. are generally performed in order to take out good dimensional accuracy, in case capillary tubes for optical fibers, such as a product made from zirconia ceramics, are produced. It is possible to prepare the surface roughness controlled intentionally at predetermined within the limits etc. by using the internal-grinding processing equipment used in the phase before finishing polish. The inner hole whose Ra value of surface

roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers by such processing means, Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers. Ry value of surface roughness An inner hole 4.0 micrometers or less, It enables the difference delta of an average line and a crest crest line for Ra value of surface roughness to be 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, to equip the difference of an average line and a crest crest line with an inner hole 2.0 micrometers or less, Ra value of these surface roughness, and Ry value, and to form an inner hole 2.0 micrometers or less.

[0026] Moreover, it says that the pin gauge in which the inner hole of the capillary tube for optical fibers of this invention has the same diameter as an optical fiber as having the bore which can insert an optical fiber passes, and says that a pin gauge with a diameter bigger 1 micrometer than an optical fiber passes [a bore] that it is large 1 micrometer to an optical fiber, and a slightly bigger pin gauge than it does not pass. An optical fiber cannot be inserted as spacing of an inner hole and an optical fiber is 0 micrometer, but on the other hand, since the adhesives poured into the surroundings of an optical fiber move to a circumferencial direction and it inclines when spacing of an inner hole and an optical fiber exceeds 2.0 micrometers, the eccentricity of the optical fiber in an inner hole becomes large.

[0027] Moreover, the ferrule for optical connectors of this invention is characterized by forming in the capillary tube for optical fibers of above-mentioned this invention the chamfer which shows insertion to a sleeve to one edge, and the flare section which carries out [the section] opening to the other-end section, and it shows to an optical fiber in an inner hole.

[0028] It is usable if it has a connectable outer diameter, a bore, concentricity, and cylindricity by other optical connector plugs and predetermined connection loss as a ferrule for optical connectors of this invention. Moreover, it is desirable that fluctuation of the connection loss which there is no trouble that it is the same dimension configuration as the existing ferrule for optical connectors as a chamfer to which it shows insertion to a sleeve in use, and is the configuration which can be inserted easily and originates an optical fiber in environmental temperature fluctuation etc. after fixing of an optical fiber as the flare section in an inner hole is the dimension which is not large. Furthermore, preliminary convex spherical-surface polish for PC connection centering on the inner hole end face in which an optical fiber is inserted may be carried out to other optical connector plugs so that PC connection may be possible.

[0029] Moreover, the capillary tube with an optical fiber of this invention is characterized by having the optical fiber inserted in the inner hole of the capillary tube for optical fibers of above-mentioned this invention, and this capillary tube for optical fibers.

[0030] As a capillary tube with an optical fiber of this invention, there are an optical connector plug, an optical fiber stub, reserve material with an optical fiber of the long picture used for these production, etc., and it is applicable if an optical fiber is correctly located at the core of the capillary tube for optical fibers. When comparing an optical connector plug, an optical fiber stub, etc. within a precision sleeve and connecting, it is desirable to form a chamfer in the end of the capillary tube for optical fibers at least, and convex spherical-surface polish centering on the end face of an optical fiber may be carried out to other optical connector plugs so that PC connection may be possible. Moreover, polish processing may be carried out so that the reflected light may go into laser diode at the end face of the capillary tube for optical fibers, it may not become a noise and an end face may accomplish the include angle of abundance to the incidence shaft of a lightwave signal. The epoxy mold which has a track record in the inner hole of the capillary tube for optical fibers as adhesives which insert an optical fiber according to the purpose, the ultraviolet curing mold excellent in workability, etc. are suitable.

[0031]

[Function] It is thought that the capillary tube for optical fibers of this invention is acting by heights higher than the average line with which an inner hole front face is dotted since Ra value of the surface roughness of an inner hole is 0.1-0.5 micrometers influencing, and adhesives, such as an epoxy system which has moderate viscosity, covering a circumferencial direction, and being stabilized and held on an inner hole front face so that an optical fiber may be maintained to the mid gear of an inner hole.

[0032] Moreover, since the center position of the maximum inscribed circle cylinder of an inner hole does not shift to the core of the circle made by the average line of the surface roughness of an inner hole since Ry value of the surface roughness of an inner hole is 4.0 micrometers or less but the capillary tube

for optical fibers of this invention can secure roundness with a high inner hole, and concentricity with a peripheral face, the desired alignment effectiveness is acquired and it does not damage the front face of the inserted optical fiber.

[0033] Furthermore, since the difference of the average line of the surface roughness of an inner hole and a crest crest line is 2.0 micrometers or less, the capillary tube for optical fibers of this invention To the average of surface roughness, even when heights and a crevice are unsymmetrical, the center position of the maximum inscribed circle cylinder of an inner hole does not shift to the core of the circle made by the average line of the surface roughness of an inner hole. Roundness with a high inner hole and concentricity with a peripheral face are securable, and since the front face of the inserted optical fiber is not damaged, the desired alignment effectiveness is brought about.

[0034] Moreover, by the capillary tube for optical fibers of this invention consisting of glass ceramics which deposited the crystal in amorphous glass, and processing crystalline glass thermally on suitable conditions Because the crystal grain child who deposited on the surface of the inner hole forms heights on the surface of an inner hole The inner hole whose Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and Ra value of surface roughness are 0.1 micrometers - 0.5 micrometers. And the capillary tube with which Ry value of surface roughness has an inner hole 4.0 micrometers or less, and Ra value of surface roughness are 0.1 micrometers - 0.5 micrometers. And the capillary tube with which the difference of an average line and a crest crest line is equipped with the capillary tube which has an inner hole 2.0 micrometers or less, Ra value of these surface roughness, and Ry value, and the difference of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less is efficiently [easily and] producible.

[0035] Furthermore, since the capillary tube for optical fibers of this invention comes to prepare predetermined surface roughness with a mechanical processing means on the surface of an inner hole The inner hole whose Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers by using internal-grinding processing equipment etc., The capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and Ry value of surface roughness has an inner hole 4.0 micrometers or less, And the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less, And the capillary tube for optical fibers with which it has Ra value and Ry value of these surface roughness, and the difference of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less is producible under room temperature conditions.

[0036] Moreover, since the flare section which carries out opening of the ferrule for optical connectors of this invention to the chamfer which shows insertion to a sleeve to one edge at the capillary tube for optical fibers of above-mentioned this invention, and the other-end section, and it shows to an optical fiber in an inner hole is formed, centering on the inner hole of the ferrule for optical connectors, an optical fiber comes to be correctly held according to the alignment effectiveness by the surface roughness of the capillary tube inner hole for optical fibers of above-mentioned this invention.

[0037] Moreover, since the capillary tube with an optical fiber of this invention is equipped with the optical fiber inserted in the inner hole of the capillary tube for optical fibers of above-mentioned this invention, and this capillary tube for optical fibers, the capillary tube with an optical fiber with which the optical fiber was held at the core of an inner hole according to the alignment effectiveness by the surface roughness of the capillary tube inner hole for optical fibers of above-mentioned this invention is obtained.

[0038]

[Embodiment of the Invention] Artificers used the crystallization glass capillary tube for optical fibers which has the presentation shown in Table 1 as an example of the capillary tube for optical fibers concerning this invention.

[0039]

[Table 1]

試料名		1	2	3	4	5
ガラス組成 (質量%)	SiO ₂	57.8	58.3	57.4	54.3	55.9
	Al ₂ O ₃	24.8	18.2	18.6	18.0	18.2
	Li ₂ O	2.7	2.3	2.3	2.5	2.0
	K ₂ O	7.0	8.4	8.5	5.0	8.4
	TiO ₂	2.8	1.8	3.0	3.0	1.5
	ZrO ₂	8.2	1.8	1.8	2.0	1.8
	ZnO	1.0	8.1	2.0	3.1	3.8
	MgO	-	1.0	1.0	1.0	1.5
	CaO	-	-	-	0.4	0.8
	BaO	-	-	-	0.5	1.4
	B ₂ O ₃	-	-	2.0	-	-
	Na ₂ O	0.4	-	-	-	-
	P ₂ O ₅	-	-	0.4	-	-
	As ₂ O ₃	0.5	-	-	0.2	0.1
	Bi ₂ O ₃	-	2.1	-	-	-
結晶化条件 (°C)						
核形成温度		780	780	790	780	780
結晶成長温度		1000	1000	980	1050	1000
主結晶		β-石英	β-石英 微結晶	β-石英 微結晶	β-石英 微結晶	β-石英 微結晶

[0040] As shown in drawing 1 (A), Ra value of the surface roughness of inner hole 20a produced the capillary tube 20 for optical fibers crystallization [than an optical fiber / with the bore of inner hole 20a larger about 1.0 micrometers (0.95-1.05 micrometers)] glass [Ry / about 0.3 micrometers and] in the difference of about 2.0 micrometers, an average line, and a crest crest line by about 1.0 micrometers.

[0041] The capillary tube 20 for optical fibers was used, and the ferrule 21 for optical connectors as shown in drawing 1 (B) was produced. Namely, the produced ferrule 21 for optical connectors Are connectable with other optical connector plugs by predetermined connection loss. An outer diameter 1.249mm**0.5micrometer, The bore of inner hole 21a in which it has the above-mentioned predetermined surface roughness, and an optical fiber is inserted 0.125mm+1/-0micrometer, Concentricity is 0.7 micrometers or less, flare section 21e which carries out opening to one edge 21c, and shows an optical fiber to inner hole 21a is prepared, and in being required, 21f of flange members fixes. Moreover, 21d of C chamfers is prepared in the periphery edge at other-end section 21b. Moreover, since the product made from polish is excellent, the ferrule 21 for optical connectors which used the crystallization glass capillary tube 20 for optical fibers is easy for grinding to the convex spherical surface as it is, using a grinder etc., so that PC connection with other optical connector plugs may be possible. As shown in drawing 1 (B), the preliminary convex spherical surface centering on the end face of inner hole 21a may be formed to shorten polish time amount furthermore.

[0042] Moreover, the crystallization glass capillary tube 20 for optical fibers was used, and the optical fiber stub 22 as shown in drawing 1 (C) was produced. Namely, the optical fiber stub 22 of this invention has fixed the optical fiber 23 with adhesives 24 to inner hole 22a which has the above-mentioned predetermined surface roughness. Polish processing of the end-face 22c is carried out so that the include angle of 8 degrees may be accomplished to a flat surface perpendicular to the incidence shaft of a lightwave signal since the reflected light goes into laser diode etc. and does not become a noise. 22d of C chamfering of the edge is prepared in the periphery section, and end-face 22b of the opposite side is ground by the convex spherical surface for PC connection centering on end-face 23a of an optical fiber 23.

[0043] The surface roughness of inner hole 20a of this capillary tube 20 for optical fibers was actually measured using the surface roughness measuring instrument. An example of the measurement chart which measured the surface roughness of inner hole 20a of the capillary tube 20 for optical fibers is

shown in drawing 2 . In the case of this capillary tube 20 for optical fibers, Ra value of surface roughness is [the difference delta of 2.09 micrometers, an average line, and a crest crest line of 0.27 micrometers and Ry value] 1.0 micrometers.

[0044] Moreover, the end face which fixed the optical fiber to the ferrule 21 for optical connectors produced using the capillary tube 20 for optical fibers with adhesives, and carried out polish finishing to it was observed with the electron microscope. The epoxy system adhesives currently generally used were used for the adhesives used for immobilization of an optical fiber, and the hardening conditions of adhesives were considered as maintenance for 60 minutes at 100 degrees C. As shown in drawing 3 , the optical fiber being settled and located in the amount of imperfect alignments of 0.1 micrometers, and aligning it about 0.4 micrometers compared with the theoretical amount of the maximum imperfect alignments through the layer of the adhesives of the thickness of an inner hole almost equal to a mid gear, was checked.

[0045] Moreover, artificers use the capillary tube 20 for optical fibers like the above. It produces ferrule 21 for optical connectors. concentricity is 1.0 micrometers or less and the bore of inner hole 21a is larger than an optical fiber about 1 micrometer -- It fixed to this ferrule 21 for optical connectors with adhesives, convex spherical-surface polish finishing of the optical fiber was carried out to it, it considered as the optical connector plug, and the connection loss when connecting eight samples at random, without doing an alignment activity was measured in the condition that it is shown in drawing 1313 of the account of the point. The measurement result of actual connection loss is shown in drawing 4 . The theoretical amount of the maximum imperfect alignments was set to 2.0 micrometers, when not aligning an optical fiber within inner hole 21a of the ferrule 21 for optical connectors, according to several 1 of the account of the point, it became 0.69dB [a maximum of] connection loss, but in real measurement, the result which 0.08dB and Maximum connection loss call 0.24dB, and standard deviation calls [average connection loss] 0.06dB by passive alignment connection was obtained. It will be set to 0.26dB, if 3 times of standard deviation sigma are added to the average and Maximum connection loss of 99.7% of probability is searched for, in order to guess maximum. The amount of imperfect alignments calculated from several 1 at the time of 0.26dB of connection loss is set to 1.2 micrometers. Therefore, the alignment effectiveness of the optical fiber within ferrule 21 inner-hole 21a for optical connectors from which the difference delta of 2.09 micrometers, an average line, and a crest crest line was acquired by the surface roughness which is 1.0 micrometers is about 0.4 micrometers, and it means that 0.27 micrometers and Ry value had had [the optical fiber eccentricity within inner hole 21a] Ra values of inner hole 21a as few as 0.1 micrometers. This is in agreement with the observation result of the end-face electron microscope photograph of drawing 3 .

[0046] Furthermore, Ra value of the surface roughness of inner hole 20a uses like the above the crystallization glass capillary tube 20 for optical fibers whose difference of about 2.0 micrometers, an average line, and a crest crest line about 0.3 micrometers and Ry value is about 1.0 micrometers. Concentricity is 0.7 micrometers or less and the bore of inner hole 21a produces the ferrule 21 for optical connectors larger about 1 micrometer than an optical fiber. It fixed to this ferrule 21 for optical connectors with adhesives, convex spherical-surface polish finishing of the optical fiber was carried out to it, it considered as the optical connector plug, and the connection loss when connecting 14 samples at random, without doing an alignment activity was measured in the condition that it is shown in drawing 13 of the account of the point. An actual measurement result is shown in drawing 5 .

[0047] The theoretical amount of the maximum imperfect alignments was set to 1.7 micrometers, when not aligning an optical fiber, according to several 1, it became 0.5dB [a maximum of] connection loss, but in actual measurement, the result which 0.06dB and Maximum connection loss call 0.14dB, and standard deviation calls [average connection loss] 0.03dB by passive alignment connection was obtained. It will be set to 0.15dB, if 3 times of standard deviation sigma are added to the average and Maximum connection loss of 99.7% of probability is searched for, in order to guess maximum. The amount of the maximum imperfect alignments calculated from several 1 at this time is set to 0.9 micrometers. Therefore, the alignment effectiveness of the optical fiber in the ferrule inner hole obtained also from this result by surface roughness found a certain thing for about 0.4 micrometers. It was in

agreement with the observation result of the electron microscope of drawing 3 also here.

[0048] As mentioned above, it was checked that the capillary tube for optical fibers concerning this invention enables it to attain optical connector connection of a low loss lightwave signal, without doing an alignment activity.

[0049] On the other hand, as an example of a comparison, concentricity of the bore was larger than the optical fiber about 1.0 micrometers at 1.0 micrometers or less, after preparing the capillary tube made from zirconia ceramics whose Ra value is less than 0.1 micrometers and pouring in adhesives into an inner hole, it fixed on the hardening conditions which insert an optical fiber and are held for 60 minutes at 100 degrees C, and the optical connector plug was produced. Then, after grinding the end face, the situation of an end face was observed with the electron microscope. Consequently, one adhesives layer of an inner hole is thick clearly, and it was checked that the optical fiber inclines toward the side attachment wall of another side of an inner hole so that it might be observed by drawing 6. The gap between the inner hole of a ferrule and an optical fiber periphery is 0.1 micrometers, and was partial about 0.9 micrometers in the narrowest place.

[0050] The ferrule for optical connectors was produced using the capillary tube made from zirconia ceramics, and it actually connected at random, without aligning eight samples.

[0051] The theoretical amount of the maximum imperfect alignments on a dimension in case there is no alignment effectiveness was set to 2.0 micrometers, according to several 1, it became 0.69dB [a maximum of] connection loss, but for average connection loss, 0.21dB and Maximum connection loss are [0.50dB and a standard deviation] 0.11dB in passive alignment connection, and the result of real measurement hardly aligned an optical fiber. The connection loss distribution at this time is shown in drawing 7. It will be set to 0.54dB, if 3 times of standard deviation sigma are added to the average and Maximum connection loss of 99.7% of probability is searched for, in order to guess maximum. When it calculates by several 1, it is equivalent to a 1.76-micrometer imperfect alignment, and this value is mostly in agreement with a forecast in case there is no above-mentioned alignment effectiveness. Moreover, this result is in agreement also with the result of having observed the electron microscope photograph of an end face shown in drawing 6. It was checked that alignment of an optical fiber hardly takes place also from this result in an inner hole with the capillary tube for optical fibers made from zirconia ceramics with small surface roughness.

[0052] moreover, the capillary tube and EQC of the product [case / of the capillary tube for optical fibers made from borosilicate glass produced by the extension fabricating method / surface roughness] made from zirconia ceramics -- or it is Ra value not more than it. After Ra value's having prepared 0.1 micrometers or less, and concentricity's having prepared the capillary tube made from borosilicate glass with a bore larger about 1.0 micrometers than an optical fiber by 1.0 micrometers or less like the case of the above-mentioned capillary tube made from zirconia ceramics and pouring in adhesives, it fixed on the hardening conditions which insert an optical fiber and are held for 60 minutes at 100 degrees C, and the optical connector plug was produced. Then, electron microscope observation of the ferrule end face for optical connectors which ground the end face was performed. Consequently, like the capillary tube made from zirconia ceramics, one adhesives layer of an inner hole is thick clearly, and it was checked that the optical fiber inclines toward the side attachment wall of another side of an inner hole so that drawing 8 might see. The gap between a ferrule inner hole and an optical fiber periphery was 0.05 micrometers in the narrowest place.

[0053] The ferrule for optical connectors was produced using the capillary tube for optical fibers made from the above-mentioned borosilicate glass, and it actually connected at random, without aligning 12 samples.

[0054] The theoretical amount of the maximum imperfect alignments on a dimension in case there is no alignment effectiveness was set to 2.0 micrometers, according to several 1, it became 0.69dB [a maximum of] connection loss, but for average connection loss, 0.24dB and Maximum connection loss were [the result of real measurement / 0.58dB and standard deviation] 0.14dB in passive alignment connection. The connection loss distribution at this time is shown in drawing 9. It will be set to 0.66dB, if 3 times of standard deviation sigma are added to the average and Maximum connection loss of 99.7%

of probability is searched for, in order to guess maximum. When it calculates by several 1, it is equivalent to a 1.95-micrometer imperfect alignment. This is mostly in agreement with a forecast in case there is no above-mentioned alignment effectiveness. It can be said that alignment of an optical fiber hardly takes place also from this result in an inner hole by the optical fiber stub using the capillary tube made from borosilicate glass with very small surface roughness. Moreover, this result is mostly in agreement also with the result of having observed the electron microscope photograph of drawing 8.

[0055] As mentioned above, since an optical fiber carries out [Ra value of surface roughness] eccentricity in the ferrule inner hole for optical connectors by less than 0.1 micrometers, in addition to the inside-and-outside side concentricity of the ferrule for optical connectors, the difference of the bore of an inner hole and an optical fiber diameter will be added to the amount of imperfect alignments at the time of optical connector connection.

[0056] Next, how to produce the capillary tube for optical fibers, and the ferrule for optical connectors using it and the capillary tube with an optical fiber of this invention is explained.

[0057] When producing the capillary tube for optical fibers of this invention, a glass phase and a crystal phase prepare the base material which consists of glass ceramics contained at a rate of about 50 to 50, and produce a capillary tube by drawing processing it is [processing] the same manufacturing method as an optical fiber in the molding temperature near about 1200 degree C about crystallization glass. Ra value of surface roughness produces the capillary tube which has the inner hole which is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers by making it deposit, controlling diameters of crystal grain, such as beta-spodumene, by performing heat treatment according to the crystal deposit conditions of this base material before the culmination of extension shaping so that the diameter of crystal grain which deposits is set to 0.1 micrometers - about 1.0 micrometers. Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers. Ry value of surface roughness Or an inner hole 4.0 micrometers or less, It becomes possible to produce the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and the difference delta of an average line and a crest crest line is equipped with Ra value and Ry value of an inner hole 2.0 micrometers or less and these surface roughness, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less.

[0058] Moreover, the capillary tube which has the inner hole whose Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers by heat-treating the capillary tube which consists of glass ceramics after shaping and processing, Or the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and Ry value of surface roughness has an inner hole 4.0 micrometers or less, The capillary tube with which it has Ra value and Ry value of the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less, and these surface roughness, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less may be produced.

[0059] On the other hand, in producing a capillary tube with a mechanical means Glass ceramics, glass, or ceramics of an ingredient is usable. In case capillary tubes, such as a product made from zirconia ceramics, are produced, the internal-grinding processing equipment used in the phase before finishing polish is used. According to the degree of hardness and abrasion resistance of an ingredient which have a dimension configuration, the dimension configuration of a grinding wire, a class, particle size of an abrasive grain, etc. by carrying out selection use suitably [whether Ra value of surface roughness processes it on 0.1 micrometers - 0.5 micrometer inner hole, and produces a capillary tube, and] Or the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and Ry value of surface roughness has an inner hole 4.0 micrometers or less, The capillary tube with which it has Ra value and Ry value of the capillary tube with which Ra value of surface roughness is 0.1 micrometers - 0.5 micrometers, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less, and these surface roughness, and the difference delta of an average line and a crest crest line has an inner hole 2.0 micrometers or less may be produced.

[0060] Thus, the produced capillary tube is used, Ra value of the surface roughness of inner hole 20a as shown in drawing 1 (A) produces [the difference of about 2.0 micrometers, an average line, and a crest

crest line] about 0.3 micrometers, and Ry produces the capillary tube 20 for optical fibers with the bore of inner hole 20a larger about 1.0 micrometers (0.95-1.05 micrometers) than an optical fiber by about 1.0 micrometers.

[0061] Next, if an example in the case of producing the ferrule for optical connectors of this invention is shown C beveling processing is performed to the periphery edge of perpendicular end-face 20b. the medial axis of the capillary tube 20 for optical fibers as shown in drawing 1 (A) produced by the above-mentioned approach -- receiving -- abbreviation -- By performing preliminary convex spherical-surface polish processing centering on the end face of inner hole 20a, in being required, and fixing 21f of flange members to end-face 21c in which flare section 21e which shows an optical fiber to inner hole 20a was formed The ferrule 21 for optical connectors as shown in drawing 1 (B) is produced.

[0062] Subsequently, the capillary tube which consists of glass ceramics produced by the approach previously described that an example in the case of producing the capillary tube with an optical fiber of this invention as shown in drawing 1 (C) is shown, or the capillary tube produced by the mechanical means is prepared. As shown in drawing 10 , it has high roundness with the dimension whose outer diameter is $1.249\text{mm} \pm 0.5\text{micrometer}$, and inner hole 25a has become $126\text{micrometer} + 1 / - 0$ micrometer to the diameter of 125 micrometers of a silica glass fiber, and this capillary tube 25 positions an optical fiber correctly to the ferrule for optical connectors of the shape of an approximate circle column whose call diameter D is 1.25mm whose concentricity is less than 1.0 micrometers, and can hold it now. Flare section 25e of the approximate circle drill configuration which guides an optical fiber 22 and makes insertion easy is formed in the end face of a capillary tube 25.

[0063] When producing a capillary tube with an optical fiber, after filling up beforehand inner hole 25a of a capillary tube 25 with adhesives 26 like drawing 10 (A) using capillarity, a vacuum aspirator, or a pressurization injector, the optical fiber 27 with which covering was removed from flare section 25e is first inserted like drawing 10 (B). Under the present circumstances, inserting an optical fiber 27, homogeneity is filled up so that air bubbles etc. may not produce adhesives 26 in the gap of inner hole 25a and an optical fiber 27. Then, adhesives 26 are stiffened and an optical fiber 27 is fixed to a capillary tube 25.

[0064] Moreover, when adhesives 26 are thermosetting, as shown in drawing 1010 (C), it puts into the heating oven 30 programmed by the predetermined temperature schedule, and the adhesives 26 in a capillary tube 25 are stiffened. In this case, for example, the case of the adhesives hardened by holding at 100 degrees C for 1 hour or more, generating of the contraction stress produced at the time of adhesive setting and air bubbles can be reduced by hardening adhesives above holding at 20-70 degrees C for 5 hours or more, and 100 degrees C, and holding at 70-20 degrees C for 1 hour or more at the time of a temperature fall.

[0065] Subsequently, when producing an optical fiber stub, as shown in drawing 11 , the long capillary tube 25 with optical fiber 27 whose overall length L is about 250mm is cut, and an overall length L1 divides to the 12.5mm (6mm \times 2+ cutting margin: predetermined die length : 0.4mm+ polish cost : 0.1mm) capillary tube 31 with optical fiber 27. 31d of 45-degree C chamfering of the edge is processed on the both-ends sides 31b and 31c of the capillary tube 31 with this optical fiber 27, and R processing of the corner part which 31d of C chamfering of the edge and a side face accomplish is done. Subsequently, the member 32 with an optical fiber is produced by carrying out PC polish processing of the both-ends sides 31b and 31c at the convex spherical surface.

[0066] Next, as shown in drawing 11 (D), the include angle of 8 degrees is given and cut to the field which makes a medial axis a normal for the central part of the member 32 with an optical fiber. Subsequently, the cut 8-degree slanting part is ground to a mirror plane, and the optical fiber stub 22 is produced.

[0067] Or 31d of 45-degree C chamfering of the edge is processed into end-face 31b of the capillary tube 31 with optical fiber 27 whose overall length L1 is 6mm, R processing of the corner part which 31d of C chamfering of the edge and a side face accomplish is done, and PC polish processing of the end-face 31a is carried out at the convex spherical surface. Slanting polish of it is carried out until the include angle of 8 degrees attaches end-face 31c, and finally it is ground to a mirror plane, finishes end-

face 31c, and produces the optical fiber stub 22.

[0068] In addition, Surfcom by Tokyo Seimitsu Co., Ltd. of a sensing method which contacts a diamond guide on a sample front face was used for Ra value of the surface roughness of the capillary tube inner hole for optical fibers, and it measured by one 10000 times the perpendicular scale factor of this, the scale factor 50 times the level scale factor of this, and the 0.3mm [/second] reading per second.

Moreover, an electron microscope photograph is taken by one 700 times the scale factor of this.

[0069]

[Effect of the Invention] The capillary tube for optical fibers which can realize low connection loss which is demanded with development of an optical-communication technique using the predetermined surface roughness prepared in the inner hole according to invention, It becomes possible to produce the ferrule for optical connectors, and a capillary tube with an optical fiber. The outstanding effectiveness which can offer the optical device which connection loss good [without needing an alignment activity] was acquired, and used the optical connector using this cheaply producible capillary tube for optical fibers and the capillary tube with an optical fiber is done so.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-149502
(P2003-149502A)

(43) 公開日 平成15年5月21日(2003.5.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 2 B 6/36		C 0 2 B 6/36	2 H 0 3 6
C 0 3 C 10/00		C 0 3 C 10/00	4 G 0 5 9
19/00		19/00	A 4 G 0 6 2

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-352986(P2001-352986)
(22) 出願日 平成13年11月19日(2001.11.19)
(31) 優先権主張番号 特願2001-258702(P2001-258702)
(32) 優先日 平成13年8月28日(2001.8.28)
(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000237243
日本電気硝子株式会社
滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号
(72) 発明者 齋藤 和也
滋賀県大津市晴嵐二丁目7番1号 日本電
気硝子株式会社内
(72) 発明者 竹内 宏和
滋賀県大津市晴嵐二丁目7番1号 日本電
気硝子株式会社内
(72) 発明者 和田 正紀
滋賀県大津市晴嵐二丁目7番1号 日本電
気硝子株式会社内

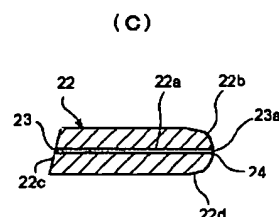
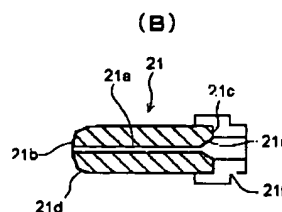
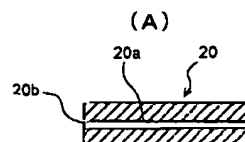
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ用毛細管、光コネクタ用フェルール、及び光ファイバ付毛細管

(57) 【要約】

【課題】 煩わしい調芯作業を行うことなく、従来よりも容易に低い接続損失が得られ、且つ安価に作製可能な光ファイバ用毛細管と、それを用いた光コネクタ用フェルール、及び光ファイバ付毛細管を提供する。

【解決手段】 本発明の光ファイバ用毛細管20は、光ファイバが挿入保持可能な内孔20aの表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであることを特徴とし、光コネクタ用フェルール21は、光ファイバ用毛細管20の一端にスリーブへの挿入を案内する面取り部21dと、他端に開口して光ファイバを内孔21aに案内するフレア部21eとが形成されている。また、光ファイバ付毛細管22は、内孔22aに挿着された光ファイバ23を備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバが挿入保持可能な内径を有する内孔を備え、該内孔の表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ であることを特徴とする光ファイバ用毛細管。

【請求項2】 内孔の表面粗さのRy値が $4.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ用毛細管。

【請求項3】 内孔の表面粗さの平均線と山頂線との差が $2.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ用毛細管。

【請求項4】 非晶質ガラス中に結晶を析出させた結晶化ガラスからなり、内孔の表面に結晶粒子が析出していることを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の光ファイバ用毛細管。

【請求項5】 内孔の表面に、機械的な加工手段によって所定の表面粗さを設けてなることを特徴とする請求項1～4の何れかに記載の光ファイバ用毛細管。

【請求項6】 請求項1～5の何れかに記載の光ファイバ用毛細管に、一方の端部にスリーブへの挿入を案内する面取り部と、他方の端部に開口して光ファイバを内孔に案内するフレア部とが形成されている光コネクタ用フェルルール。

【請求項7】 請求項1～5の何れかに記載の光ファイバ用毛細管と、該光ファイバ用毛細管の内孔に挿着された光ファイバとを備えている光ファイバ付毛細管。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光デバイスの製造に用いられる光ファイバ用毛細管、光コネクタ用フェルルール、及び内孔に光ファイバを挿着した光ファイバ付毛細管に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信網の急速な発展により、高性能かつ安価な光デバイスが大量に必要となっている。特に光ファイバを内蔵したプラグ型の光デバイスやレセプタクル型の光デバイスには、精密な毛細管に光ファイバを挿入して接着剤で固着した円柱状の光ファイバスタブと呼ばれる光ファイバ付毛細管や光コネクタプラグが使用される。

【0003】例えば、図12に示すように、光ファイバ付毛細管の一方の端面を凸球面に、他方の端面に斜め研磨面に加工すると光ファイバスタブ6として機能する。この光ファイバスタブ6は、レーザーダイオード1から出射され、レンズ2によって集光された光信号を取り入れ、光コネクタプラグ3の光コネクタ用フェルルール4中の光ファイバ5に伝達するために、または光コネクタ用フェルルール4の内孔4a内の光ファイバ5から出射した

光信号を図示しないフォトダイオード等に集光するために使用されている。

【0004】この光ファイバスタブ6は、レーザーダイオード1（またはフォトダイオード）側の光ファイバ用毛細管7の端面7bにおいて反射光がレーザーダイオード1に入ってノイズにならないように、光信号の入射軸に対して反射軸が数度の角度を成すように端面7bが研磨加工されている。さらに反対側の端面7cは、光コネクタプラグ3と光ファイバ8を突き合わせてPC（物理的接触の略）接続が可能のように光ファイバ8の端面8aを中心とした凸球面に研磨がされている。

【0005】光コネクタプラグ3と光ファイバスタブ6との接続は、図12に示すように、光コネクタプラグ3の凸球面に加工された光ファイバ5の端面5aと光ファイバスタブ6の光ファイバ8の端面8aとを割りスリーブ9内で突き合わせるPC接続によって行なわれる。

【0006】このような光信号の接続としては、一般に、大容量の光ファイバ通信に用いられる光コネクタ同士の接続が代表的である。光コネクタの接続では、図13に示すように、光コネクタプラグ10は、光ファイバ12が挿入可能な内径を有する内孔11aを備えた精密な毛細管を所定の形状に加工した光コネクタ用フェルルール11が使用され、その内孔11aに、接着剤で光ファイバ12が挿着され、端面が凸球面に加工されている。これらの光コネクタプラグ10同士の接続は、光ファイバ12の端面12a同士を割りスリーブ13内で突き合わせるPC接続によって行なわれる。このときの接続損失は、主にPC接続部の光ファイバ12同士の軸ずれに起因して生ずる。光ファイバ12同士の軸ずれは、使用される光コネクタ用フェルルール11同士の外径差と、端面の内孔11aの真円度と外周面11bの円筒度、光コネクタ用フェルルール11の内孔11aと外周面11bの同心度と、端面の内孔11a内での光ファイバ12の偏心量とが累積されたものとして生じる。これらのうち、光コネクタ用フェルルール11端面の内孔11aと外周面11bとの同心度と、端面の内孔11a内での光ファイバ12の偏心量が、突き合わせられる光ファイバ同士の軸ずれに最も寄与している。そのため光コネクタ用フェルルール11の同心度はシングルモード光ファイバを用いる通信では、 $1.4\mu\text{m}$ 以下と規定されている。また、内径11aは挿入される光ファイバ12の外径に対して $0\sim 1\mu\text{m}$ 大きいフェルルールが使用されている。このような光ファイバ12の軸ずれ量dと接続損失Loss（単位dB）との関係は、光ファイバのコア径をwとした場合、一般に、次の式で表される。

【0007】

【数1】

$$Loss = 4.34 \left(\frac{d}{(w/2)} \right)^2$$

【0008】ここで、接続損失の要因を内孔11aと外

周面11bとの同心度と、内孔11a内での光ファイバ

12の偏心量に限定して考察する。まず、光コネクタ用フェルール11の同心度が $1.4\mu\text{m}$ 以下で、かつ、内孔11aの内径が光ファイバ12より $1\mu\text{m}$ 大きい光コネクタ用フェルール11を用いて光ファイバが内孔11a内で $0.5\mu\text{m}$ 偏心した場合、突き合わせるもう一方のフェルールでの偏心量も同様に考えて、最悪のケースで軸ずれ量は $2.4\mu\text{m}$ となり、上記の数1では最大 1.0dB の接続損失となる。そこで、石英系シングルモード光ファイバを用いた通信用光コネクタの規格(JIS-C-5962)に規定された 0.5dB 以下の接続損失を達成するためには光ファイバ用フェルール11を回転させる調芯作業が必要となる。実際の調芯作業は、まず、光コネクタ用フェルール11端面の内孔11aと外周面11bとの同心度を測定し、偏心方向をフランジ部材14の側面に 90° ピッチ(1/4回転ピッチ)でマーキングし、突き合わせる光コネクタ用フェルール11同士の偏心方向を合わせるようにして組み立てるか、あるいは実際に光を通して光の強度をパワーメータ等でモニターしながら、1/4回転ずつ光コネクタ用フェルール11を回転させ接続損失が最も良くなる位置で組み立てるといふ、非常に手間がかかり煩わしい作業である。

【0009】一方、先記の図12に示すような光デバイスにも同様な現象が起こるが、光コネクタプラグ3と光ファイバスタブ6とを接続する場合や、レンズ2で集光された光信号(または出射される光信号)の光軸と光ファイバスタブ6に使用される光ファイバ用毛細管7の内孔7a内にある光ファイバ8の中心との位置決めの際に、光ファイバスタブ6の光ファイバ用毛細管7の端面7bが内孔7a内にある光ファイバ8の偏心方向を考慮せずに数度の角度を成すように研磨加工されて位置が固定されるので、その構造上、調芯作業を行うことができない。そのため、両者間の軸ずれのうち、内孔7a内の光ファイバ8の偏心に起因した軸ずれを軽減することができず、光信号の接続損失が増大する問題がある。

【0010】また、図13に示すように、同心度の公差が $1.4\mu\text{m}$ 以下で、かつ内径の公差が光ファイバ12の直径に対し $0\mu\text{m}/+1.0\mu\text{m}$ という非常に厳しい寸法精度の光コネクタ用フェルール11を量産するためには、例えば、光コネクタ用フェルール11が最も一般的なジルコニアセラミクス製の場合、材料の焼結体を加工して仕上げるため、少なくとも内外面ともに表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}$ 未満になるように研磨加工する必要がある。

【0011】このようなジルコニアセラミクス製光コネクタ用フェルール11が具備する表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}$ 未満である内孔11aに光ファイバ12を挿入して接着剤で固着した場合、光ファイバ12は内孔11a側壁に偏って偏心する傾向にあり、内孔11a内の中心に調芯され難いことが知られており、発明者らもこ

の事実を確認している。従って、従来のジルコニアセラミクス製の小さい表面粗さを有する光コネクタ用フェルール11では、石英系のシングルモード光ファイバ通信用光コネクタの規格(JIS-C-5962)に記載された接続損失の規定値である 0.5dB 以内を達成するために上記のような煩わしい調芯作業が必須であった。図12に示す光ファイバスタブ6と光コネクタプラグ3との接続の際にも同様な現象が起こるが、光ファイバスタブ6の構造上、調芯作業ができないため従来のジルコニアセラミクス製の光ファイバ用毛細管7を用いた場合、内孔7a内の光ファイバ8の偏心に起因した軸ずれを軽減することはできず、光信号の損失が増大する問題がある。

【0012】また、光通信の用途のうち、大容量及び/又は高信頼性が要求されるものには、光コネクタの接続損失の規定値である 0.5dB よりもさらに低い接続損失が求められる場合がある。このような要求に対応するためには、図13に示す光コネクタ用フェルール11の内径11aの公差あるいは同心度の公差を標準の公差よりも厳しく設定する以外に手段がなく、数多く作製した光コネクタ用フェルール11の中から寸法精度の良いものを選別するなどして製造するため、非常にコストが高くなる。また、光ファイバ付毛細管を加工した図12に示す光ファイバスタブ6についても、PC接続部が光コネクタ用フェルールと同様の構造であり、同様に低い接続損失が求められる場合には調芯作業ができないため、さらに寸法精度が厳しくなるので、非常に高価なものになるという問題がある。

【0013】本発明は、上記の問題点を鑑みてなされたものであり、従来よりも容易に低い接続損失が得られ、且つ安価に作製可能な光ファイバ用毛細管と、それを用いた光コネクタ用フェルール、及び光ファイバ付毛細管を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために発明者らは以下のような発明に到った。即ち、本発明に係る光ファイバ用毛細管は、光ファイバが挿入保持可能な内径を有する内孔を備え、内孔の表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0015】光ファイバ用毛細管の内孔の表面粗さRa値が $0.1\mu\text{m}$ 未満であると、挿入された光ファイバが内孔側壁に近づいて偏心する傾向にあるので調芯効果は期待できない。一方、内孔の表面粗さのRa値が $0.5\mu\text{m}$ を超える場合、最大粗さとして定義されているRy値も相当量大きくなることが予想されるので、上記と同様に内孔の表面粗さの平均線によってできる円の中心に対し、内孔の最大内接円筒の中心位置がずれてしまう場合が多くなって内孔の本来の同心度自体が実質上悪くなることや、挿入された光ファイバ表面に傷がついて強度低下を招く虞がある。本発明の光ファイバ用毛細管で

は、内孔の表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ であることが重要である。

【0016】例えば、ジルコニアセラミクス製の光ファイバ用毛細管を用いて光コネクタプラグや光ファイバスタブを構成する場合、光コネクタで規定された接続損失を満たすために、内孔の表面粗さのRa値を $0.1\mu\text{m}$ 未満に精度よく研磨加工することで厳しい寸法精度（内径の公差 $-0\mu\text{m}/+1.0\mu\text{m}$ 、同心度の公差 $1.4\mu\text{m}$ 以下）を達成しているが、表面粗さのRa値が $0.5\mu\text{m}$ 以上となると、この寸法精度を満足することが困難になり、安定して量産することは殆ど不可能になる。

【0017】また、延伸成形によって作製される結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管を用いて光コネクタプラグや光ファイバスタブを構成する場合も同様に、表面粗さのRa値が $0.5\mu\text{m}$ 以上では、光ファイバスタブに用いる毛細管としての厳しい寸法精度を満足することが困難であり、安価な光ファイバスタブを大量に製造することが難しくなる。

【0018】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔表面粗さのRy値が $4.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0019】光ファイバ用毛細管の内孔の表面粗さRy値が $4.0\mu\text{m}$ を超える場合、内孔の表面粗さの平均線によってできる円の中心に対し、内孔の最大内接円筒の中心位置がずれてしまう虞があり、内孔の本来の同心度自体が実質上悪くなってしまう他、鋭く突き出した凸部先端で挿入された光ファイバ表面に傷をつけてしまう場合もある。本発明の光ファイバ用毛細管では、内孔の高い寸法精度を確保する上で、内孔の表面粗さのRy値としては $4.0\mu\text{m}$ 以下であることが重要である。

【0020】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、それに用いられる毛細管内孔の表面粗さの平均線と山頂線との差が $2.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0021】光ファイバ用毛細管の内孔のJIS-B-0601で定義されている表面粗さの平均線と山頂線との差が $2.0\mu\text{m}$ を超える場合、内孔の表面粗さの平均線によってできる円の中心に対し、内孔の最大内接円筒の中心位置がずれてしまう虞があり、内孔の本来の同心度自体が実質上悪くなってしまう他、鋭く突き出した凸部先端で、挿入された光ファイバ表面に傷をつけてしまう場合もある。本発明の光ファイバ用毛細管では、光コネクタプラグや光ファイバスタブ等の光ファイバ付毛細管を構成する光ファイバ用毛細管の場合に内孔内での光ファイバの調芯効果を得る上で、表面粗さの平均線に対し凸部と凹部が非対称な場合でも、表面粗さの平均線と山頂線との差が $2.0\mu\text{m}$ 以下であることが重要である。

【0022】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、非晶質ガラス中に結晶を析出させた結晶化ガラスからなり、内孔の表面に結晶粒子が析出していることを特徴と

する。

【0023】本発明で非晶質ガラス中に析出させる結晶として、光ファイバ用毛細管内孔の表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ となるためには、結晶粒径が $0.1\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 程度であれば使用可能であり、例えば、 β -スポジュメンの結晶等が適している。

【0024】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔の表面に、機械的な加工手段によって所定の表面粗さを設けてなることを特徴とする。

【0025】本発明の光ファイバ用毛細管で内孔の表面に上記所定の表面粗さを設ける機械的な加工手段とは、例えば、ジルコニアセラミクス製の光ファイバ用毛細管を作製する際に、良好な寸法精度を出すため、一般的には、ワイヤーや砥粒等を使用する内面研削及び研磨を行うが、仕上げ研磨前の段階で使用される内面研削加工装置等を用いることにより意図的に所定範囲内に制御された表面粗さを設けることなどが考えられる。このような加工手段により、表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ である内孔、表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ であり、かつ表面粗さのRy値が $4.0\mu\text{m}$ 以下の内孔、表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ であり、かつ平均線と山頂線との差が $2.0\mu\text{m}$ 以下の内孔、および、これら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差 δ が $2.0\mu\text{m}$ 以下の内孔を形成することが可能となる。

【0026】また、本発明の光ファイバ用毛細管の内孔が、光ファイバが挿入可能な内径を有しているとは、光ファイバと同じ直径をもつピンゲージが通ることをいい、内径が光ファイバに対して $1\mu\text{m}$ 大きいとは、光ファイバよりも直径が $1\mu\text{m}$ 大きなピンゲージが通り、それよりも僅かに大きなピンゲージが通らないことをいう。内孔と光ファイバとの間隔が $0\mu\text{m}$ であると光ファイバが挿入できず、一方、内孔と光ファイバとの間隔が $2.0\mu\text{m}$ を超えると、光ファイバの周りに注入されている接着剤が円周方向に移動して偏るので内孔内での光ファイバの偏心量が大きくなる。

【0027】また、本発明の光コネクタ用フェルールは、上記本発明の光ファイバ用毛細管に、一方の端部にスリーブへの挿入を案内する面取り部と、他方の端部に開口して光ファイバを内孔に案内するフレア部とが形成されていることを特徴とする。

【0028】本発明の光コネクタ用フェルールとしては、他の光コネクタプラグと所定の接続損失で接続が可能な外径、内径、同心度、及び円筒度を備えていれば使用可能である。また、スリーブへの挿入を案内する面取り部としては、既存の光コネクタ用フェルールと同様な寸法形状であると使用に支障がなく、フレア部としては、光ファイバを内孔に容易に挿入が可能な形状であり、光ファイバの固着後に環境の温度変動等起因する接続損失の変動が大きくない寸法であることが好まし

い。さらに、他の光コネクタブラグとPC接続が可能のように、光ファイバが挿着される内孔端面を中心としたPC接続用の予備的な凸球面研磨がされていてもよい。

【0029】また、本発明の光ファイバ付毛細管は、上記本発明の光ファイバ用毛細管と、該光ファイバ用毛細管の内孔に挿着された光ファイバとを備えていることを特徴とする。

【0030】本発明の光ファイバ付毛細管としては、光コネクタブラグ、光ファイバスタブ、及びこれらの作製に使用する長尺の光ファイバ付予備材等があり、光ファイバ用毛細管の中心に光ファイバを正確に位置させるものであれば適用可能である。光コネクタブラグや光ファイバスタブ等を精密スリーブ内で突き合わせ接続する場合、少なくとも光ファイバ用毛細管の一端に面取り部を形成しておくことが好ましく、他の光コネクタブラグとPC接続が可能のように光ファイバの端面を中心とした凸球面研磨がされていてもよい。また、光ファイバ用毛細管の端面に反射光がレーザーダイオードに入ってノイズにならないように光信号の入射軸に対して端面が数度の角度を成すように研磨加工されていてもよい。光ファイバ用毛細管の内孔に光ファイバを挿着する接着剤としては、目的に応じて、実績のあるエポキシ型、作業性に優れた紫外線硬化型等が適している。

【0031】

【作用】本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔の表面粗さのRa値が0.1~0.5 μ mであるので、内孔表面に点在する平均線よりも高い凸部が影響し、適度の粘性を有するエポキシ系等の接着剤が円周方向に亘って内孔表面に安定して保持されることで、光ファイバを内孔の中央位置に維持するように作用していると考えられる。

【0032】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔の表面粗さのRy値が4.0 μ m以下であるので、内孔の表面粗さの平均線によってできる円の中心に対して内孔の最大内接円筒の中心位置がずれず、内孔の高い真円度や外周面との同心度を確保することができるので、所望の調芯効果が得られ、挿入された光ファイバの表面を傷つけることもない。

【0033】さらに、本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔の表面粗さの平均線と山頂線との差が2.0 μ m以下であるので、表面粗さの平均値に対し凸部と凹部が非対称な場合でも、内孔の表面粗さの平均線によってできる円の中心に対して内孔の最大内接円筒の中心位置がずれず、内孔の高い真円度や外周面との同心度を確保することができ、挿入された光ファイバの表面を傷つけることもないので、所望の調芯効果をもたらす。

【0034】また、本発明の光ファイバ用毛細管は、非晶質ガラス中に結晶を析出させた結晶化ガラスからなり、結晶性ガラスを適切な条件で熱的に処理することにより、内孔の表面に析出した結晶粒子が内孔の表面に凸部を形成することで、表面粗さのRa値が0.1 μ m~

0.5 μ mの内孔、表面粗さのRa値が0.1 μ m~0.5 μ mであり、かつ表面粗さのRy値が4.0 μ m以下の内孔を有する毛細管、及び表面粗さのRa値が0.1 μ m~0.5 μ mであり、かつ平均線と山頂線との差が2.0 μ m以下の内孔を有する毛細管、および、これら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差が2.0 μ m以下の内孔を有する毛細管を容易かつ効率的に作製することができる。

【0035】さらに、本発明の光ファイバ用毛細管は、内孔の表面に、機械的な加工手段によって所定の表面粗さを設けてなるので、内面研削加工装置等を用いることにより表面粗さのRa値が0.1 μ m~0.5 μ mの内孔、表面粗さのRa値が0.1 μ m~0.5 μ mであり、かつ表面粗さのRy値が4.0 μ m以下の内孔を有する毛細管、及び表面粗さのRa値が0.1 μ m~0.5 μ mであり、かつ平均線と山頂線との差が2.0 μ m以下の内孔を有する毛細管、および、これら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差が2.0 μ m以下の内孔を有する光ファイバ用毛細管を室温条件下で作製することができる。

【0036】また、本発明の光コネクタ用フェルールは、上記本発明の光ファイバ用毛細管に、一方の端部にスリーブへの挿入を案内する面取り部と、他方の端部に開口し光ファイバを内孔に案内するフレア部とが形成されているので、上記本発明の光ファイバ用毛細管内孔の表面粗さによる調芯効果により光コネクタ用フェルールの内孔中心に光ファイバが正確に保持されるようになる。

【0037】また、本発明の光ファイバ付毛細管は、上記本発明の光ファイバ用毛細管と、該光ファイバ用毛細管の内孔に挿着された光ファイバとを備えているので、上記本発明の光ファイバ用毛細管内孔の表面粗さによる調芯効果により光ファイバが内孔の中心に保持された光ファイバ付毛細管が得られる。

【0038】

【発明の実施の形態】発明者らは、本発明に係る光ファイバ用毛細管の一例として、例えば、表1に示す組成を持つ結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管を使用した。

【0039】

【表1】

試料名		1	2	3	4	5
ガラス組成 (質量%)	SiO ₂	57.8	55.3	57.4	54.8	55.9
	Al ₂ O ₃	24.6	18.2	16.6	18.0	18.2
	Li ₂ O	2.7	2.9	2.8	2.5	2.0
	K ₂ O	7.0	8.4	8.5	5.0	8.4
	TiO ₂	2.8	1.8	3.0	3.0	1.5
	ZrO ₂	8.2	1.8	1.8	2.0	1.8
	ZnO	1.0	3.1	2.0	3.1	3.8
	MgO	-	1.0	1.0	1.0	1.5
	CaO	-	-	-	0.4	0.6
	B ₂ O ₃	-	-	-	0.5	1.4
	B ₂ O ₃	-	-	2.0	-	-
	Na ₂ O	0.4	-	-	-	-
	P ₂ O ₅	-	-	0.4	-	-
	As ₂ O ₃	0.5	-	-	0.2	0.1
	Bi ₂ O ₃	-	2.1	-	-	-
結晶化条件 (°C)						
核形成温度		780	780	790	780	780
結晶成長温度		1000	1000	980	1050	1000
主 結 晶		トリアム 酸	トリアム 酸	トリアム 酸	トリアム 酸	トリアム 酸

【0040】図1(A)に示すように、内孔20aの表面粗さのRa値が、例えば、約0.3 μ m、Ryが約2.0 μ m、平均線と山頂線の差が約1.0 μ mで内孔20aの内径が光ファイバよりも約1.0 μ m(0.95~1.05 μ m)大きい結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管20を作製した。

【0041】光ファイバ用毛細管20を使用して、図1(B)に示すような光コネクタ用フェルール21を作製した。即ち、作製した光コネクタ用フェルール21は、他の光コネクタプラグと所定の接続損失で接続が可能な、例えば、外径が1.249mm \pm 0.5 μ m、上記所定の表面粗さを有して光ファイバが挿着される内孔21aの内径が0.125mm+1/-0 μ m、同心度が0.7 μ m以下であり、一方の端部21cに開口し光ファイバを内孔21aに案内するフレア部21eが設けられ、必要な場合にはフランジ部材21fが固着される。また、他方の端部21bには、外周縁部にC面取り部21dが設けてある。また、結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管20を使用した光コネクタ用フェルール21は、研磨製が優れているので、このまま研磨機等を使用して他の光コネクタプラグとのPC接続が可能のように凸球面に研磨することは容易である。さらに研磨時間を短縮したい場合には、図1(B)に示すように、内孔21aの端面を中心とした予備的な凸球面を形成しておいてもよい。

【0042】また、結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管20を使用して、図1(C)に示すような光ファイバスタブ22を作製した。即ち、本発明の光ファイバスタブ22は、上記所定の表面粗さを有する内孔22aに光ファイバ23を接着剤24により固着しており、端面22cは反射光がレーザーダイオード等に入ってノイズに

ならないために光信号の入射軸に垂直な平面に対して8°の角度を成すように研磨加工されており、反対側の端面22bは、周縁部にC面取り部22dが設けられて光ファイバ23の端面23aを中心としたPC接続用の凸球面に研磨されている。

【0043】実際に、表面粗さ測定器を使用してこの光ファイバ用毛細管20の内孔20aの表面粗さを測定した。光ファイバ用毛細管20の内孔20aの表面粗さを測定した測定チャートの一例を図2に示す。この光ファイバ用毛細管20の場合、表面粗さのRa値は0.27 μ m、Ry値は2.09 μ m、平均線と山頂線との差 δ は1.0 μ mである。

【0044】また、光ファイバ用毛細管20を使用して作製した光コネクタ用フェルール21に光ファイバを接着剤により固着し、研磨仕上げした端面を電子顕微鏡で観察を行った。光ファイバの固定に使用する接着剤は、一般的に使用されているエポキシ系接着剤を使用し、接着剤の硬化条件は100°Cで60分間保持とした。図3に示すように、内孔のほぼ中央位置にほぼ均等な厚さの接着剤の層を介して光ファイバが0.1 μ mの軸ずれ量で収まって位置しており、理論的な最大軸ずれ量に比べて0.4 μ m程度調芯されていることが確認された。

【0045】また、発明者らは、上記と同様に光ファイバ用毛細管20を使用して、同心度が1.0 μ m以下であり、内孔21aの内径は光ファイバより約1 μ m大きい光コネクタ用フェルール21作製し、この光コネクタ用フェルール21に光ファイバを接着剤により固着し、凸球面研磨仕上げして光コネクタプラグとし、先記の図13に示すような状態で、調芯作業をせずに8個のサンプルをランダムに接続したときの接続損失を測定した。実際の接続損失の測定結果を図4に示す。光コネクタ用フェルール21の内孔21a内で光ファイバが調芯されない場合には、理論的な最大軸ずれ量は2.0 μ mとなり、先記の数1によれば最大0.69dBの接続損失となるが、実測定では無調芯接続で平均接続損失が0.08dB、最大接続損失が0.24dB、標準偏差が0.06dBという結果が得られた。最大値を推測するために平均値に標準偏差 σ の3倍を加え、99.7%の確率の最大接続損失を求めると0.26dBとなる。接続損失0.26dBのときの数1から計算される軸ずれ量は、1.2 μ mとなる。従って、内孔21aのRa値が0.27 μ m、Ry値が2.09 μ m、平均線と山頂線との差 δ が1.0 μ mである表面粗さによって得られた光コネクタ用フェルール21内孔21a内の光ファイバの調芯効果は0.4 μ m程度であり、内孔21a内の光ファイバ偏心は0.1 μ mと僅かであったことになる。これは図3の端面電子顕微鏡写真の観察結果と一致する。

【0046】さらに、上記と同様に内孔20aの表面粗さのRa値が約0.3 μ m、Ry値が約2.0 μ m、平

均線と山頂線の差が約 $1.0\mu\text{m}$ である結晶化ガラス製の光ファイバ用毛細管20を使用して、同心度が $0.7\mu\text{m}$ 以下であり、内孔21aの内径は光ファイバより約 $1\mu\text{m}$ 大きい光コネクタ用フェルール21を作製し、この光コネクタ用フェルール21に光ファイバを接着剤により固着し、凸球面研磨仕上げして光コネクタプラグとし、先記の図13に示すような状態で、調芯作業をせずに14個のサンプルをランダムに接続したときの接続損失を測定した。実際の測定結果を図5に示す。

【0047】光ファイバが調芯されない場合には、理論的な最大軸ずれ量は $1.7\mu\text{m}$ となり、数1によれば最大 0.5dB の接続損失となるが、実際の測定では無調芯接続で平均接続損失が 0.06dB 、最大接続損失が 0.14dB 、標準偏差が 0.03dB という結果が得られた。最大値を推測するために平均値に標準偏差 σ の3倍を加え、 99.7% の確率の最大接続損失を求めると 0.15dB となる。このときの数1から計算される最大軸ずれ量は $0.9\mu\text{m}$ となる。従って、この結果からも表面粗さによって得られたフェルール内孔内の光ファイバの調芯効果は $0.4\mu\text{m}$ 程度あることがわかった。ここでも図3の電子顕微鏡の観察結果と一致した。

【0048】以上のように、本発明に係る光ファイバ用毛細管により、調芯作業をすることなく低損失な光信号の光コネクタ接続を達成することが可能となることが確認された。

【0049】これに対して、比較例として、同心度が $1.0\mu\text{m}$ 以下で内径が光ファイバよりも約 $1.0\mu\text{m}$ 大きく、Ra値が $0.1\mu\text{m}$ 未満であるジルコニアセラム製毛細管を準備して、内孔内に接着剤を注入したあと、光ファイバを挿入して 100°C で60分間保持する硬化条件で固着して光コネクタプラグを作製した。その後、端面を研磨した上で、電子顕微鏡により端面の様子を観察した。その結果、図6で観察されるように、内孔の一方の接着剤層が明らかに厚くなっており、内孔の他方の側壁に光ファイバが偏っていることが確認された。フェルールの内孔と光ファイバ外周との間の間隙は最も狭いところで $0.1\mu\text{m}$ であり、約 $0.9\mu\text{m}$ 偏っていた。

【0050】実際に、ジルコニアセラム製毛細管を用いて光コネクタ用フェルールを作製し、8個のサンプルを調芯せずにランダムに接続した。

【0051】調芯効果がない場合の寸法上の理論的な最大軸ずれ量は $2.0\mu\text{m}$ となり、数1によれば最大 0.69dB の接続損失となるが、実測定の結果は無調芯接続で平均接続損失が 0.21dB 、最大接続損失が 0.50dB 、標準偏差が 0.11dB であり、光ファイバがほとんど調芯されていなかった。このときの接続損失分布を図7に示す。最大値を推測するために平均値に標準偏差 σ の3倍を加え、 99.7% の確率の最大接続損失を求めると 0.54dB となる。数1により計算する

と $1.76\mu\text{m}$ の軸ずれに相当し、この値は上記の調芯効果がない場合の予測値とほぼ一致する。また、この結果は、図6に示す端面の電子顕微鏡写真を観察した結果とも一致する。この結果からも、表面粗さの小さいジルコニアセラム製の光ファイバ用毛細管では内孔内で光ファイバの調芯がほとんど起こらないことが確認された。

【0052】また、延伸成形法によって作製されたホウケイ酸ガラス製の光ファイバ用毛細管の場合も表面粗さはジルコニアセラム製の毛細管と同等かあるいはそれ以下のRa値である。上記のジルコニアセラム製毛細管の場合と同様にRa値が $0.1\mu\text{m}$ 以下、同心度が $1.0\mu\text{m}$ 以下で、内径が光ファイバよりも約 $1.0\mu\text{m}$ 大きいホウケイ酸ガラス製の毛細管を準備し、接着剤を注入したあと、光ファイバを挿入し 100°C で60分間保持する硬化条件で固着して光コネクタプラグを作製した。その後、端面を研磨した光コネクタ用フェルール端面の電子顕微鏡観察を行った。その結果、図8に見られるように、ジルコニアセラム製の毛細管と同様、内孔の一方の接着剤層が明らかに厚くなっており、内孔の他方の側壁に光ファイバが偏っていることが確認された。フェルール内孔と光ファイバ外周との間の間隙は最も狭いところで $0.05\mu\text{m}$ であった。

【0053】実際に、上記のホウケイ酸ガラス製の光ファイバ用毛細管を用いて光コネクタ用フェルールを作製し、12個のサンプルを調芯せずにランダムに接続した。

【0054】調芯効果がない場合の寸法上の理論的な最大軸ずれ量は $2.0\mu\text{m}$ となり、数1によれば最大 0.69dB の接続損失となるが、実測定の結果は無調芯接続で平均接続損失が 0.24dB 、最大接続損失が 0.58dB 、標準偏差が 0.14dB であった。このときの接続損失分布を図9に示す。最大値を推測するために平均値に標準偏差 σ の3倍を加え、 99.7% の確率の最大接続損失を求めると 0.66dB となる。数1により計算すると $1.95\mu\text{m}$ の軸ずれに相当する。これは上記の調芯効果がない場合の予測値とほぼ一致する。この結果からも、表面粗さが極めて小さいホウケイ酸ガラス製の毛細管を用いた光ファイバスタブでは内孔内で光ファイバの調芯がほとんど起こらないといえる。また、この結果は、図8の電子顕微鏡写真を観察した結果ともほぼ一致している。

【0055】以上のように、表面粗さのRa値が $0.1\mu\text{m}$ 未満では、光コネクタ用フェルール内孔内で光ファイバが偏心してしまうので、光コネクタ用フェルールの内外面同心度に加えて、内孔の内径と光ファイバ直径との差が光コネクタ接続時の軸ずれ量に加算されることになる。

【0056】次に、本発明の光ファイバ用毛細管と、それを用いた光コネクタ用フェルール、及び光ファイバ付

毛細管を作製する方法について説明する。

【0057】本発明の光ファイバ用毛細管を作製する場合、例えば、ガラス相と結晶相が約50対50の割合で含まれた結晶化ガラスからなる母材を準備し、結晶化ガラスを約1200℃付近の成形温度で光ファイバと同様の製造法である線引き加工によって毛細管を作製する。この母材の結晶析出条件に応じた熱処理を延伸成形の最終段階までの間に行うことで、析出する結晶粒径が0.1μm~1.0μm程度となるように、例えば、β-スボジューメン等の結晶粒径を制御しながら析出させることで、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmである内孔を有する毛細管を作製する。あるいは、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり表面粗さのRy値が4.0μm以下の内孔や、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔、およびこれら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔を有する毛細管を作製することが可能となる。

【0058】また、成形後や加工後の結晶化ガラスからなる毛細管を熱処理することで、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmである内孔を有する毛細管、あるいは、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり表面粗さのRy値が4.0μm以下の内孔を有する毛細管や、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔を有する毛細管、およびこれら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔を有する毛細管を作製してもよい。

【0059】一方、機械的な手段によって毛細管を作製する場合には、材料が結晶化ガラス、ガラス、セラミックスの何れでも使用可能であり、ジルコニアセラミックス製の毛細管を作製する際に、仕上げ研磨前の段階で使用される内面研削加工装置等を用いて、寸法形状を有する材料の硬度や耐摩耗性に応じて、研削ワイヤーの寸法形状や砥粒の種類及び粒径等を適宜選定することにより、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μm内孔に加工して毛細管を作製するか、または、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり表面粗さのRy値が4.0μm以下の内孔を有する毛細管や、表面粗さのRa値が0.1μm~0.5μmであり平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔を有する毛細管、およびこれら表面粗さのRa値及びRy値を備え、かつ平均線と山頂線との差δが2.0μm以下の内孔を有する毛細管を作製してもよい。

【0060】このようにして作製された毛細管を使用して、図1(A)に示すような、内孔20aの表面粗さのRa値が、例えば、約0.3μm、Ryが約2.0μm、平均線と山頂線の差が約1.0μmで内孔20aの内径が光ファイバよりも約1.0μm(0.95~1.

05μm)大きい光ファイバ用毛細管20を作製する。

【0061】次に、本発明の光コネクタ用フェルールを作製する場合の一例を示すと、上記の方法で作製された図1(A)に示すような光ファイバ用毛細管20の中心軸に対して略垂直な端面20bの外周縁部にC面取り加工を施し、必要な場合には内孔20aの端面を中心とした予備的な凸球面研磨加工を施して、光ファイバを内孔20aに案内するフレア部21eが形成された端面21cにはフランジ部材21fを固着することにより、図1(B)に示すような光コネクタ用フェルール21を作製する。

【0062】次いで、図1(C)に示すような、本発明の光ファイバ付毛細管を作製する場合の一例を示すと、先に記述した方法で作製された結晶化ガラスからなる毛細管、あるいは機械的な手段によって作製された毛細管を準備する。図10に示すように、この毛細管25は、外径が1.249mm±0.5μmの寸法で高い真円度を有しており、内孔25aは、石英系光ファイバの直径125μmに対して126μm+1/-0μmになっており、かつ同心度が1.0μm以内であり、呼び直径Dが1.25mmの略円柱状の光コネクタ用フェルールに対して光ファイバを正確に位置決めして保持できるようになっている。毛細管25の端面には、光ファイバ22を案内して挿入を容易にする略円錐形状のフレア部25eが形成されている。

【0063】光ファイバ付き毛細管を作製する場合、まず、毛細管25の内孔25aに図10(A)のように、予め接着剤26を毛管現象または真空吸引装置または加圧注入装置を利用して充填した後、図10(B)のように、フレア部25eから被覆が除去された光ファイバ27を挿入する。この際、光ファイバ27を挿入しながら接着剤26を内孔25aと光ファイバ27の間に気泡等が生じないように均一に充填する。その後、接着剤26を硬化させて光ファイバ27を毛細管25に固着する。

【0064】また、接着剤26が熱硬化性の場合は、図10(C)のように、所定の温度スケジュールにプログラムされた加熱オープン30に入れて毛細管25内の接着剤26を硬化させる。この際、例えば、100℃で1時間以上保持することで硬化する接着剤の場合、20~70℃にて5時間以上保持すること、および100℃以上で接着剤を硬化し、降温時に70~20℃にて1時間以上保持することにより、接着剤硬化時に生じる収縮応力、気泡の発生を低減することができる。

【0065】次いで、光ファイバスタブを作製する場合、図11に示すように、全長Lが約250mmの光ファイバ27付の長尺毛細管25を切断して、全長L1が12.5mm(所定長さ:6mm×2+切断代:0.4mm+研磨代:0.1mm)の光ファイバ27付の毛細管31に分断する。この光ファイバ27付の毛細管31

の両端面31b、31cに45°のC面取31dを加工し、C面取31dと側面とが成すコーナー部分をR加工する。次いで、両端面31b、31cを凸球面にPC研磨加工することにより、光ファイバ付部材32を作製する。

【0066】次に、図11(D)に示すように、光ファイバ付部材32の中央部分を、中心軸を法線とする面に対して8°の角度をつけて切断する。次いで、切断された8°の斜め部分を鏡面に研磨し、光ファイバスタブ22を作製する。

【0067】あるいは、全長L1が6mmである光ファイバ27付の毛細管31の端面31bに45°のC面取31dを加工し、C面取31dと側面とが成すコーナー部分をR加工し、端面31aを凸球面にPC研磨加工する。端面31cは8°の角度がつくまで斜め研磨し、最後に鏡面まで研磨して端面31cを仕上げて光ファイバスタブ22を作製する。

【0068】なお、光ファイバ用毛細管内孔の表面粗さのRa値は、ダイヤモンド指針をサンプル表面に接触させるセンシング方式の株式会社東京精密製Surfcomを使用し、垂直倍率10000倍、水平倍率50倍の倍率、測定速度0.3mm/秒で測定を行った。また、電子顕微鏡写真は、700倍の倍率で撮影したものである。

【0069】

【発明の効果】発明によれば、内孔に設けた所定の表面粗さを利用して、光通信技術の発展に伴い要求されている低い接続損失を実現できる光ファイバ用毛細管、光コネクタ用フェルール及び光ファイバ付毛細管を作製することが可能となり、調芯作業を必要とせずに良好な接続損失が得られ、且つ安価に作製が可能な該光ファイバ用毛細管を用いた光コネクタ、光ファイバ付毛細管を使用した光デバイスを提供することができる優れた効果を奏するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の説明図であって、(A)は実施の形態に係る光ファイバ用毛細管の説明図、(B)は光コネクタ用フェルールの説明図、(C)は光ファイバスタブの説明図。

【図2】本発明の実施の形態に係る光ファイバ用毛細管内孔の表面粗さの測定チャート。

【図3】研磨後の結晶化ガラス製毛細管を用いた光コネクタ用フェルール端面の電子顕微鏡写真。

【図4】同心度が1.0μm以下である結晶化ガラス製毛細管を用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分布。

【図5】同心度が0.7μm以下である結晶化ガラス製毛細管を用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分

布。

【図6】研磨後のジルコニアセラミクス製毛細管を用いた光コネクタ用フェルール端面の電子顕微鏡写真。

【図7】同心度が1.0μm以下であるジルコニアセラミクス製毛細管を用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分布。

【図8】研磨後のホウケイ酸ガラス製毛細管を用いた光コネクタ用フェルール端面の電子顕微鏡写真。

【図9】同心度が1.0μm以下であるホウケイ酸ガラス製毛細管を用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分布。

【図10】光ファイバ付毛細管の作製方法の説明図であって、(A)は光ファイバ用毛細管に接着剤を充填する説明図、(B)は(A)の光ファイバ用毛細管に光ファイバを挿入する説明図、(C)は接着剤を固化する説明図。

【図11】光ファイバスタブの作製方法の説明図であって、(A)は光ファイバ付長尺毛細管から所定長さに切断された短尺の光ファイバ付毛細管の説明図、(B)は端面を面取り加工された短尺の光ファイバ付毛細管の説明図、(C)は光ファイバ付部材の説明図、(D)は光ファイバ付部材を斜めに分断する説明図(E)は光ファイバスタブの説明図。

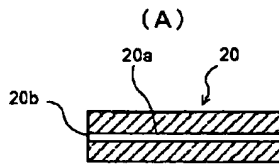
【図12】光モジュールに使用される光ファイバ付毛細管を加工した光ファイバスタブの説明図。

【図13】PC接続される光コネクタの要部説明図。

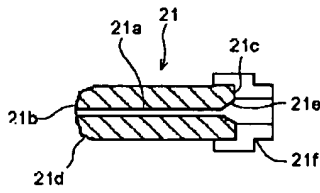
【符号の説明】

- 1 レーザダイオード
- 2 レンズ
- 3、10 光コネクタプラグ
- 4、11 光コネクタ用フェルール
- 4a、7a、11a、20a、25a、31a 内孔
- 7、20、25 光ファイバ用毛細管
- 5、8、12、23、27 光ファイバ
- 5a、8a、12a、 光ファイバの端面
- 7b、7c、12b、20b、21c、22b、22c、31b、31c、25b、25c 端面
- 9、13 割スリーブ
- 6、22 光ファイバスタブ
- 14、21f フランジ部材
- 21e、25e フレア部
- 21d、22d C面取り部
- 24、26 接着剤
- 25 毛細管
- 30 加熱オープン
- 32 光ファイバ付部材
- δ 平均線と山頂線との差

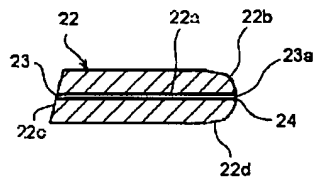
【図1】



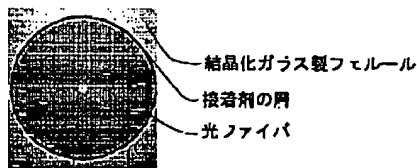
(B)



(C)

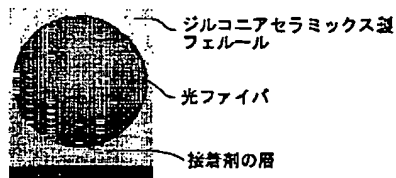


【図3】



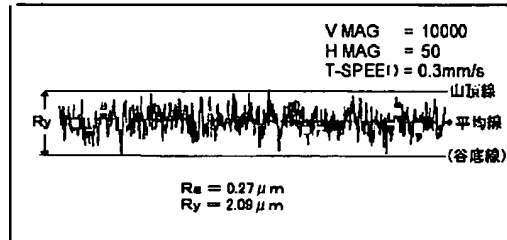
研磨後の結晶化ガラス製フェルール端面の電子顕微鏡写真

【図6】

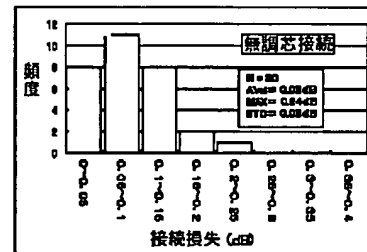


研磨後のジルコニアセラミックス製フェルール端面の電子顕微鏡写真

【図2】

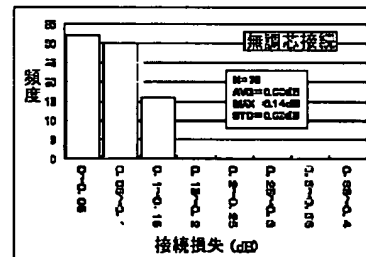


【図4】



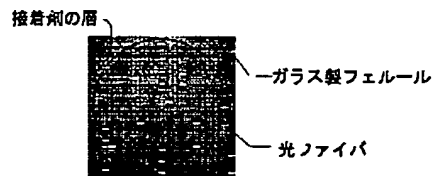
同心度 1.0 μm以下の結晶化ガラス製フェルールを用いた光コネクタの無芯接続での接続損失分布

【図5】



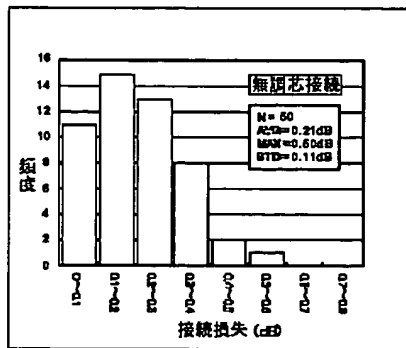
同心度 0.7 μm以下の結晶化ガラス製フェルールを用いた光コネクタの無芯接続での接続損失分布

【図8】



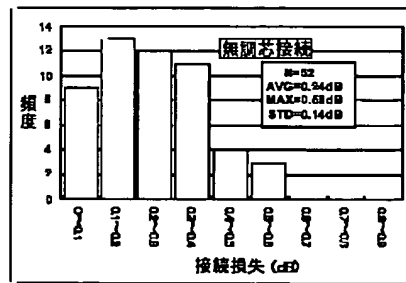
研磨後のガラス製フェルール端面の電子顕微鏡写真

【図7】



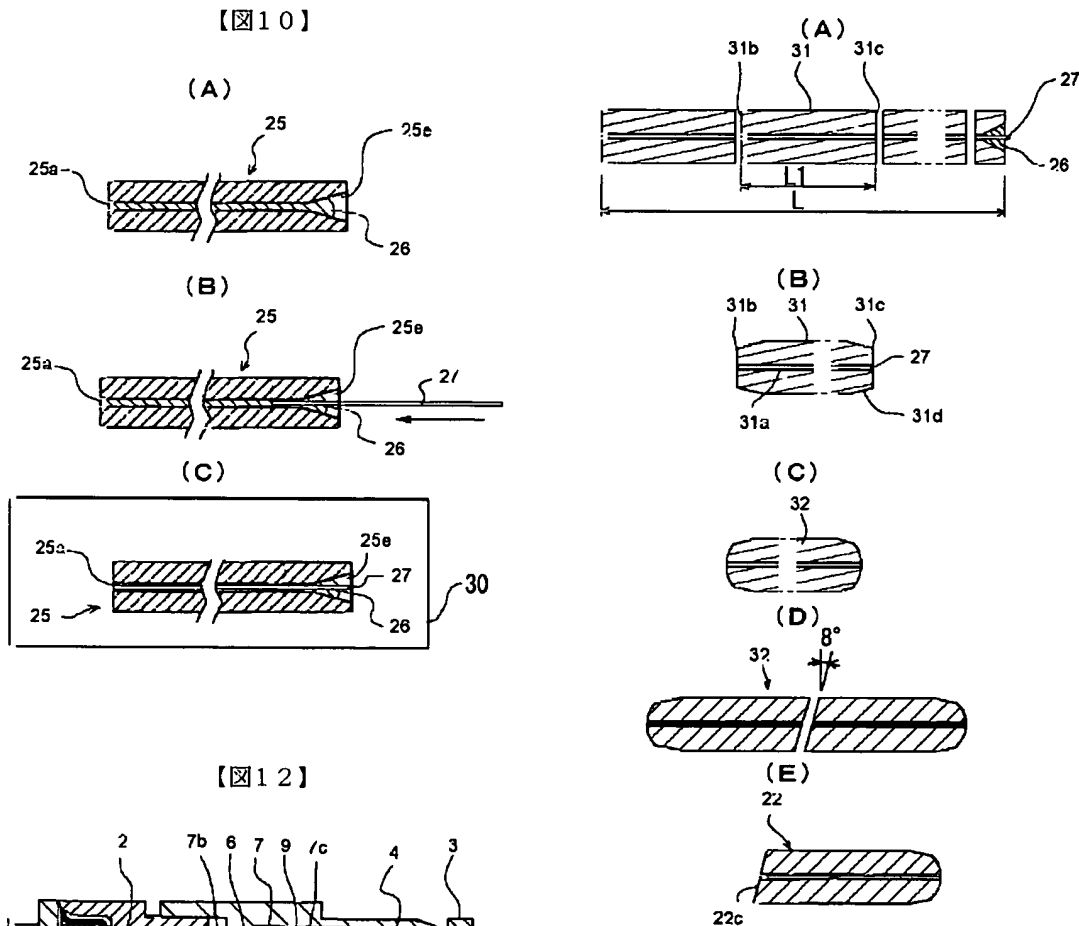
同心度1.0 μmのジルコニアセラミックス製フェールールを用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分布

【図9】

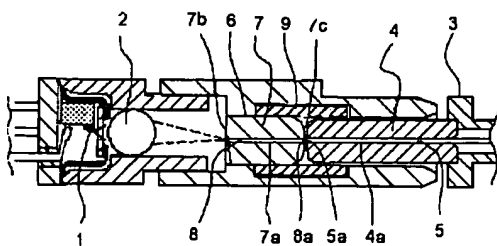


ガラス製フェールールを用いた光コネクタの無調芯接続での接続損失分布

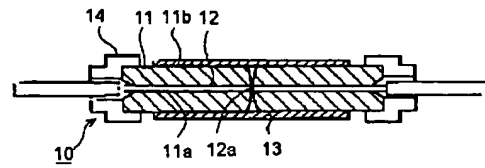
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H036 QA13 QA17 QA20
4G059 AA11 AA20 AC30
4G062 AA06 AA18 BB06 DA06 DB04
DC01 DC02 DC03 DD01 DD02
DE03 DF01 EA03 EB01 EB02
EC03 ED01 ED02 ED03 EE01
EE02 EF01 EG01 EG02 EG03
FA01 FB03 FC03 FD01 FE01
FF01 FG01 FH01 FJ01 FK01
FL01 GA01 GA03 GA10 GB01
GC01 GD01 GE01 HH01 HH03
HH05 HH07 HH09 HH11 HH13
HH15 HH17 HH20 JJ01 JJ03
JJ04 JJ05 JJ07 JJ10 KK01
KK03 KK05 KK07 KK10 MM04
MM40 NN40 QQ02 QQ10